

不同栽培措施对改善妮娜皇后葡萄 果实着色与品质的效果

金欢淳¹, 金联宇², 陈亦雅³, 王良德¹, 吴颖¹, 胡丹^{1*}, 张培安^{4*}

(¹温州市农业技术推广中心,浙江温州 325000; ²乐清联宇葡萄研究所,浙江乐青 325600;

³中国农业大学园艺学院,北京 100193; ⁴浙江省亚热带作物研究所,浙江温州 325005)

摘要:【目的】妮娜皇后葡萄外观和品质俱佳,但在部分产区因转色期高温多湿与光照不足的栽培环境,导致果实着色不良、糖分积累减少,因此,探索改善其果实着色和品质的适宜栽培措施有重要意义。【方法】以南方产区设施生产的妮娜皇后为研究对象,在果穗转色前(E-L 34)通过喷施不同植物生长调节剂、氨基酸肥以及铺设反光膜等栽培措施,测量果实成熟过程中形状、花色苷、可溶性固形物(TSS)、可溶性糖、有机酸、挥发性有机物(VOCs)含量等性状的变化,同时检测果皮中类黄酮和花色苷合成相关基因的表达水平。【结果】除以硝酚钠和氨基酸肥为有效成分的爱多收和艾果龙外,其他处理均能显著改善果实着色,并提高果皮中花色苷合成相关基因(*VvCHS*、*VvUGT*、*VvDFR*和*VvMYB90*)的表达水平,其中S-诱抗素改善果实着色的效果最佳,但无法有效增加果肉中可溶性糖和VOCs含量。茉莉酸甲酯不仅能够改善果实着色,促进果皮中相关基因表达,还能够提高果肉中TSS、可溶性糖、VOCs含量。金村秋和反光膜处理在增加果实纵横径和硬度方面具有显著作用。此外,运用隶属函数法对所有处理进行综合评价分析,表明50 mg·L⁻¹茉莉酸甲酯综合效果最佳。【结论】喷施50 mg·L⁻¹茉莉酸甲酯是改善妮娜皇后葡萄果实着色与品质的最佳处理方式。

关键词:葡萄; 妮娜皇后; 栽培措施; 果实着色; 品质

中图分类号:S663.1 文献标志码:A 文章编号:1009-9980(2024)10-2051-16

Different cultivation practices promote berry coloration and quality in Queen Nina grape

JIN Huanchun¹, JIN Lianyu², CHEN Yiya³, WANG Liangde¹, WU Ying¹, HU Dan^{1*}, ZHANG Pei'an^{4*}

(¹Wenzhou Agricultural Technology Extension and Service Center, Wenzhou 325000, Zhejiang, China; ²Yueqing Lianyu Grape Research Institute, Yueqing 325600, Zhejiang, China; ³College of Horticulture, China Agricultural University, Beijing 100193, China; ⁴Zhejiang Institute of Subtropical Crops, Wenzhou 325005, Zhejiang, China)

Abstract:【Objective】The Queen Nina grape is famous nationwide for its excellent appearance and taste. However, its productivity and quality are largely limited by the climate factors such as high temperature, humidity, and insufficient light during the veraison stage, leading to poor berry coloring, reduced sugar accumulation and reduced commercialization. Traditional techniques to improve grape berry coloration include trunk girdling, leaf removal, and cluster and berry thinning, which are often labor-intensive and technically demanding for producers. In this study, we compared the advantages with disadvantages of spraying different plant growth regulators or amino acid fertilizers, and laying reflective film, with spraying water on the berry surface serving as a control, so as to select simple and easy cultivation practices to promote coloration and quality of Queen Nina berries.【Methods】With Queen Nina, produced in facilities in a southern China production area (Wenzhou, Zhejiang) as the sample, before turning color (E-L 34), the berry surface was sprayed with trans-abscisic acid (T1, dilute 200×), Guo-

收稿日期:2024-05-10 接受日期:2024-07-29

基金项目:国家自然科学基金项目(32302469);温州市基础性公益科研项目(N2023022)

作者简介:金欢淳,女,硕士,主要从事果树栽培研究。E-mail:494264459@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. E-mail:2018204002@njau.edu.cn; E-mail:106880520@qq.com

dele (T2, dilute 1000×), methyl jasmonate (T3, 50 mg·L⁻¹), Tianrunduocai (T4, dilute 1000×), Jinchunqiu (T5, dilute 2000×), ethrel (T6, dilute 600×), Aiduoshou (T7, dilute 4000×), Aiguolong (T8, dilute 800×), the reflective film (T9) was laid on the ground, and clean water was sprayed as a control (CK). The first sample was taken before treatment and thereafter at 10 d intervals for four consecutive times, recorded as DS0, DS1, DS2, DS3 and DS4, respectively. During berry ripening, we measured the coloration level of the cluster, colour index for red grapes (CIRG), berry morphogenesis and berry hardness. The expression levels of the genes related to the synthesis of anthocyanin (*VvCHS*, *VvUFGT*, *VvDFR* and *VvMYB90*) in the skin, as well as the changes of the traits of the flesh such as the content of total soluble solids (TSS), soluble sugars and organic acids were analyzed. Meanwhile, the contents of volatile organic compounds (VOCs) in the ripening berries were also measured. 【Results】 Our findings revealed that, apart from T7 and T8, which contained sodium nitrophenol and amino acid fertilizers as active ingredients, all the other treatments were able to significantly enhance berry coloration and increase the expression of *VvCHS*, *VvUFGT*, *VvDFR* and *VvMYB90* in the skin. Among them, T1 exhibited the most effective improvement in berry coloration. At DS3, the coloration level of the cluster was 4.85 and the CIRG was 5.52 (meeting the criteria for deep red colour), with a content of 0.29 mg·g⁻¹ of the total anthocyanin, but T1 was not able to effectively increase the content of soluble sugars and VOCs in the pulp. T3 not only improved fruit coloration and promoted the expression of related genes, but also drastically increased TSS, soluble sugars and VOCs, in which the content of the total anthocyanin in the skin and the content of soluble sugars and VOCs in the flesh at DS4 were 0.28, 180.40, and 30.28 μg·g⁻¹, respectively. Both T1 and T3 had little effect on berry longitudinal and transverse diameters, and reduced berry firmness at fruit ripening, which was significantly lower than that of CK at DS4, being only 1.08 and 1.02 kg·cm⁻², respectively, whereas the T5 and T9 were very different, with significant effects on increasing berry longitudinal and transverse diameters, and firmness. At DS4, the single grain weights of T5 and T9 were 14.77 and 14.99 g, respectively, which were 14.23% and 15.93% higher than that of CK, and the transverse diameters were 28.52 and 28.73 mm, respectively, which were 3.56% and 4.32% higher than that of CK. At DS4, the total organic acid content in the flesh of T4 treatment was relatively less (only 2.79 mg·g⁻¹), and there was no significant difference between the other treatments and CK, with the contents ranging from 3.40 to 4.53 mg·g⁻¹. In addition, T1, T2 and T4 were able to significantly increase the content of trans-2-hexenol, which was the most abundant terpene in the pulp of Queen Nina. Finally, a comprehensive evaluation based on subordinate function values analysis suggested that T3 was the most effective treatment overall. 【Conclusion】 50 mg·L⁻¹ methyl jasmonate was selected as the best treatment in this study to improve the color and quality of Queen Nina grape berry. It not only promoted the expression of anthocyanin-related genes, so as to effectively improve fruit color, but also increased TSS, soluble sugars and VOCs in the flesh.

Key words: Grape; Queen Nina; Cultivation practices; Berry coloration; Quality

葡萄(*Vitis vinifera*)是世界性重要果树之一,品种众多,且果实能够广泛用于鲜食、酿酒、制干、榨汁等,在果树产业中占有重要地位^[1]。其中色泽是影响葡萄果实品质的重要性状之一,决定了其外观品质、营养价值、加工性能和经济效益^[2]。因此,有色葡萄品种的着色状况是影响果实品质和市场竞争力的重要因素,生产色泽均匀、饱满的优质商品果是葡

萄育种和栽培的重要目标^[3]。然而,全球气候变暖,极端气候频发,夏季高温多湿、昼夜温差小,以及设施栽培过程中的弱光等因素,造成果实着色不良的现象常有发生^[4-5],其中在红地球、妮娜皇后等鲜红色品种中尤为突出^[6]。

妮娜皇后作为近些年颇受葡萄生产者关注的鲜食品种,其果粒大而饱满、果皮色泽鲜红、口感与风

味俱佳,但在部分南方产区由于昼夜温差小、光照不足等原因,存在果实着色不佳的问题。因此,解决南方产区葡萄果实着色问题,是满足妮娜皇后等品种优质化生产的迫切需求^[7]。

传统改善葡萄果实着色的栽培技术包括树干环剥^[8]、除叶^[9]和疏果^[10]等,这些栽培方式往往耗费大量的劳动力,且对生产者有较高的技术要求。而喷施植物生长调节剂、叶面肥等作为低成本、快速高效的栽培措施,已在改善果实色泽、提高果实品质等方面广泛应用^[11],其中脱落酸(ABA)^[12]、乙烯^[13]、茉莉酸^[14]等成熟相关的植物激素,已被证明能够通过调控 *VvCHS*、*VvUFGT*、*VvDFR*、*VvMYB90* 等花色苷合成相关的结构基因和转录因子的表达,进而促进果皮中花色苷的积累。然而,目前缺乏不同激素及植物生长调节剂在改善妮娜皇后果实着色与品质作用优劣的相关结论。

为此,笔者在本研究中以南方产区设施生产的妮娜皇后为研究对象,在果穗转色前实施喷施不同植物生长调节剂、氨基酸肥以及铺设反光膜等栽培措施,并通过比较不同处理后果实着色与品质形成

的差异,以期筛选到合适的栽培措施,进而改善果皮着色、提升果实品质。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验在温州乐清市联宇葡萄研究所试验基地(121.11° E, 28.28° N)进行,试验品种为5年生妮娜皇后。葡萄植株为南北行向,株行距1 m×3 m,采用连栋避雨大棚和飞鸟形架,植株生长健壮且长势一致,按常规栽培措施统一管理。随机选择一行进行试验,剔除首尾两株,每处理选择连续3株,当果实开始变软但未转色时(Eichhorn Lorenz 34, E-L 34)^[15],选择相同位置(东侧)、长势一致、无病虫害的果穗作为试验对象。

1.2 试验设计

1.2.1 筛选改善妮娜皇后着色与品质的处理措施
试验开展于2022年6—8月,采用10种不同处理(详见表1)。选择6月16日傍晚(18:00—19:00)进行处理,所有喷施处理采用常规喷雾法,以喷清水作为对照(CK),每种处理中均添加1%吐温-80作为表面活

表1 本研究对转色前妮娜皇后果穗实施的不同处理措施

Table 1 Different treatments carried out in this study on Nina Queen clusters before color change

编号 No.	处理 Treatment	处理条件 Processing condition	生产厂商 Manufacturer	有效成分 Active ingredient
T1	S-诱抗素 <i>Trans-abscisic acid</i>	稀释200倍 Dilute 200×	四川龙麟福生科技有限责任公司 Sichuan Lomon Bio. Technology Co., Ltd	5% S-诱抗素 5% <i>Trans-abscisic acid</i>
T2	果得乐 Guodele	稀释1000倍 Dilute 1000×	益地国际农业(北京)有限公司 Yidi International Agriculture (Beijing) Co., Ltd	C.M.F.S(高浓缩糖蜜发酵液) C.M.F.S (Highly concentrated molasses fermentation broth)
T3	茉莉酸甲酯 Methyl jasmonate (MeJA)	50 mg·L ⁻¹	北京索莱宝科技有限公司 Beijing Solarbio Technology Co., Ltd	95%茉莉酸甲酯 95% MeJA
T4	天润多彩 Tianrunduocai	稀释1000倍 Dilute 1000×	广州天润多彩生态农业有限公司 Guangzhou Tianrun Colorful Ecological Agriculture Co., Ltd	氨基酸肥 Amino acid fertiliser
T5	金村秋 Jinchunqiu	稀释2000倍 Dilute 2000×	南京禾稼春生物科技有限公司 Nanjing Hejachun Biotechnology Co., Ltd	5-氨基乙酰丙酸(5-ALA) 5-aminolevulinic acid
T6	乙烯利 Ethrel	稀释600倍 Dilute 600×	四川国光农化有限公司 Sichuan Guoguang Agrochemical Co., Ltd	40%乙烯利 40% Ethrel
T7	爱多收 Aiduoshou	稀释4000倍 Dilute 4000×	旭化学工业(漳州)有限公司 Asahi Chemical Industry (Zhangzhou) Co., Ltd	硝酚钠 Sodium nitphenol
T8	艾果龙 Aiguolong	稀释800倍 Dilute 800×	深圳五谷网络科技有限公司 Shenzhen Wugu Network Technology Co., Ltd	氨基酸肥 Amino acid fertiliser
T9	反光膜 Reflective film	在树冠正下方距离果穗1.5 m的地面铺设与树冠外缘对齐的0.5 m宽的白色反光地布(1446B型,杜邦,美国),果穗喷施清水处理。 0.5 m wide white reflective ground cloth (1446B, DuPont, USA) aligned with the outer edge of the canopy was laid on the ground 1.5 m from the canopy, and the clusters were sprayed with water treatment.		
CK	清水 Water			

注:有效成分摘自包装上的成分说明,各喷施处理(包括CK)均添加1%吐温-80作为表面活性剂。

Note: The active ingredients are taken from the ingredient statement on the package, and 1% Tween-80 was added as a surfactant to each spray treatment (including CK).

性剂,果穗均匀喷雾,果粒均匀附着不滴水,试验过程中仅喷施处理1次。反光膜处理组果穗同样喷施清水+1%吐温-80以消除系统误差,铺反光膜前去除杂草、枯枝等地面尖锐物,将反光膜平铺于地面,用地钉压膜,保持膜面平整且不易掀飞,膜与膜交界处采用卡扣固定。每组处理约30穗果穗,处理后进行挂牌标记。

1.2.2 样品采集 处理开始时取第一次样,记为DS0。所有处理开始后,每隔10 d拍照取样1次,直至果实完全成熟,共取4次样,分别记为DS1~DS4。从5穗处理果穗的上、中、下部位各采集10粒果实,试验期间每穗果仅取一次样。拍照果穗进行标记,不参与取样。测定果实外观指标和果实硬度后,将果皮、果肉、种子分离后利用液氮速冻,储存于-80 °C备用。

1.3 试验方法

1.3.1 果实外观指标 (1)果穗着色等级。随机选5串果穗,参照李芳菲等^[16]的方法进行评价。

(2)果实着色指数。从采集的果实中随机选取20粒果实,用手持色差计(CR-400; Konica Minolta,日本)测定每个果实赤道部位4个方位的色泽指标L、a、b,并计算色泽饱和度(chroma,C)、色调角(hue angle,h)和葡萄果实色泽指数(color index of red grape,CIRG),CIRG指数评价果实外观色泽的标准为:CIRG<2为黄绿,2≤CIRG<4为粉红,4≤CIRG<5为红色,5≤CIRG<6为深红,CIRG≥6为蓝黑色^[17]。

(3)单果质量、纵横径、果形指数。从采集的果实中随机选取20粒进行外观指标测定。单粒质量采用电子天平(DLX-A8;德力西,中国)测定,果实纵径、横径用0.01 mm游标卡尺(3.0V;德力西,中国)测定。果形指数=果实纵径/果实横径。

1.3.2 果实理化指标 (1)果实硬度。选取20粒果实,采用数显式拉力计(HG-2000;Grows,中国)测定拉力计探头刺破果皮时的拉力数值。

(2)总花色苷含量。参考赵益梅等^[18]的方法,采用pH示差法测定,随机选取20粒果实,冷冻状态下迅速将果皮和果肉分离,加液氮研磨成粉状,每个处理样品取3份进行提取和测定。

(3)总可溶性固形物(Total soluble solid,TSS)含量。选取20粒果实,使用手持式折光仪(PAL-36S;ATAGO,日本)测定。

(4)可溶性糖和有机酸含量。将上一步中获得的果肉利用液氮研磨成粉状,提取方法和色谱条件均参考自Zheng等^[19],采用超高效液相色谱(Ultra-performance liquid chromatography, UPLC; 可溶性糖: ACQUITY H-Class, Water, 美国; 有机酸: Ulti-Mate 3000, Thermo, 美国)测定果肉中可溶性糖和有机酸含量,每个处理样品取3份进行提取和测定。

(5)挥发性有机物含量(Volatile organic compounds,VOCs)。葡萄果实VOCs的提取采用顶空固相微萃取(HS-SPME)技术,测定的条件与方法参考Zhang等^[20]的报道。每个处理样品取3份进行测定。

1.4 果实品质综合评价

选取与品质关系密切的13个指标,采用隶属函数法^[21]进行果实品质综合评价。

(1)与果实品质呈正相关的指标为果穗着色等级、色泽指数、单果质量、纵径、横径、果实硬度,以及果皮总花色苷、TSS、总可溶性糖、果实香气(包括总VOCs、酯类和萜烯类)含量,计算如下式。

$$U(X_{ij}) = \frac{X_{ij} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}.$$

(2)与果实品质呈负相关的指标为总有机酸含量,计算如下式。

$$U(X_{ij}) = 1 - \frac{X_{ij} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}.$$

式中,U(X_{ij})表示各指标的隶属度值,且U(X_{ij})∈[0,1];X_{ij}表示第i个处理第j个指标的测定值;X_{max}、X_{min}为所有品种第j项指标的最大值和最小值。以不同处理的13项指标隶属度的平均值作为妮娜皇后果实品质的评价标准进行比较。

1.5 RNA提取与荧光定量PCR

采用Biofit RNA提取试剂盒(V1.5,成都百菲特科技有限公司,中国)提取葡萄果皮RNA。RNA反转录采用Hifair® II 1st Strand cDNA Synthesis Kit(翌圣生物科技有限公司,中国)。RT-qPCR采用Hieff Unicon® Universal TaqMan multiplex qPCR master mix(翌圣生物科技有限公司,中国),具体方法参照说明书。每个处理样品取3份,分别开展RNA提取、反转录和RT-qPCR,其中RT-qPCR同时采用3次技术重复。VvUBQ被用作内参基因,各基因的定量水平采用2^{-△△Ct}方法计算,以CK样品在DS0阶段时该基因的表达水平作为参照。本研究中所用基因的登录号及定量引物如表2所示。

表2 实时荧光定量PCR引物序列
Table 2 RT-qPCR primer sequences

基因名称 Gene name	基因编号 Gene ID	上游引物序列 Forward primer sequence	下游引物序列 Reverse primer sequence
<i>VvCHS</i>	X75969.1	AAACTATGTGCTACAGTCC	GACTACAGTTAGAAATAA
<i>VvUGT</i>	KJ495698.1	GGGATGGTAATGGCTGTGG	ACATGGGTGGAGAGTGAGTT
<i>VvDFR</i>	NM_001281215.2	GAAACCTGTAGATGGCAGGA	GGCCAAATCAAACCTACCAGA
<i>VvMYB90</i>	XM_010666609.2	TAGTCACCACTTCAAAAAGG	GAATGTGTTGGGGTTATC
<i>VvUBQ</i>	XR_002030723.1	GAGGGTCGTCAGGATTGGA	GCCCTGCACCTACCATCTTAAG

1.6 数据分析

采用软件SAS 9.2(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)进行统计学分析。采用Duncan多重比较检验($p<0.05$)分析显著性水平。

2 结果与分析

2.1 不同处理果实外观性状的变化

2.1.1 果穗着色程度 由图1-A可知,各处理方式中除T7和T8外,其他处理均较CK更能够促进妮娜皇后果实着色,其中T1促进果实着色的能力最强。在DS3时T1着色等级便已达到了4.85,显著高于其他处理和CK;此时T2和T3处理的果穗着色等级分别为3.85和3.95,但同样显著高于其他处理;T4、T5、T6和T9处理分别为2.98、2.97、2.45和2.45,其中T4和T5处理显著高于T6和T9处理;而T7、T8和CK则仅有1.75、1.85和1.65,3个处理间不存在显著性差异。至DS4时,T1、T2、T3处理的果穗着色等级均已达到5.00,即着色面积>90%,T4、T5和T6处理在此时着色等级也接近5.00,分别为4.74、4.56和4.32。T9处理虽仅为3.25,但显著高于T7、T8和CK,分别为2.65、2.77和2.48,此3个处理间不存在显著性差异(图1-B)。

通过果实着色指数进一步比较,发现随着妮娜皇后果实逐渐成熟,L和b的指数逐渐减小,而a和CIRG增加,但不同处理的果实着色指数增加或减少的幅度存在差异。在DS1时,各处理的L值均显著低于CK。至DS2时,与CK相比,T7、T8和T9处理未表现出显著差异,而其他处理显著低于CK。在DS4时,T8和T9处理与CK差异不显著,T1和T2处理则相对较低,表明此处理使得果皮色泽最深。T7、T8、T9和CK的b值在各个时期的差异相对较小,由DS0的10.00~10.45降至DS4时的5.00~5.79,而其他处理在DS4时彼此间无显著差异,但显著低

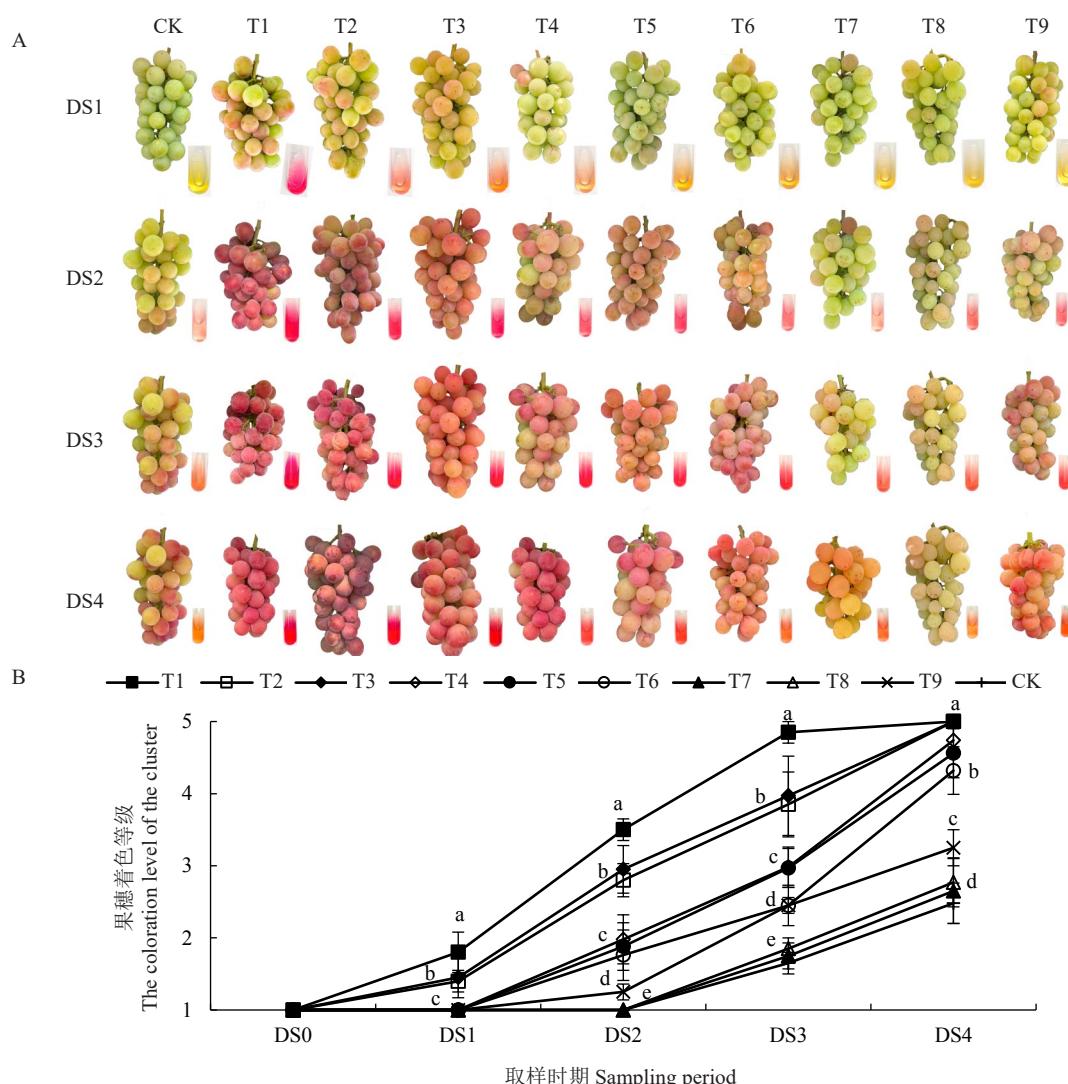
于这4种处理,降至了1.28~2.89。CK的a值在DS0~DS3期间均为负值,仅在DS4达到了3.06,而T1和T2处理在DS1时便为正值,分别为1.37和0.44,且显著高于其他处理。在DS4时,与CK相比,T7、T8和T9处理的a值也未表现出显著差异,而其他处理同样显著高于CK。

此外,T1处理的CIRG值在各个时期(DS1~DS4)均为各处理的最高值,且在DS3时便已达到了深红的标准(5.52),并显著高于其他处理,T2和T3处理也达到红色标准,分别为4.68和4.20,而此时CK依旧仅处于黄绿色标准(1.87),且显著低于其他处理。在DS4时,除CK外,各处理的果实外观色泽标准与DS3时保持一致,而CK的CIRG值达到了2.76,为粉红色(表3)。

2.1.2 单粒质量 不同处理组从DS0至DS4单粒质量整体上呈增加趋势。至DS4时,T5、T7和T9处理相对较大,分别为14.77、14.79和14.99 g,且从DS0至此时均增加了3.00 g,而T2和CK相对较小,分别为12.88和12.93 g,分别仅增加了1.45和1.00 g。此外,其他处理(T2除外)在DS4时的单粒质量同样大于CK,介于13.42~14.44 g之间(表4)。

2.1.3 纵横径与果形指数 各处理组中果实横径的变化与单果质量变化的趋势相似,即在DS4时T5、T7和T9处理的横径显著大于其他处理(T6除外),分别为28.52、28.91和28.73 mm,与DS0时相比分别增加了1.50、1.79和1.42 mm。而各个时期T1~T4处理与CK相比均无显著差异,其中CK果实横径的增加量极少,仅为0.07 mm(表4)。

果实纵径在处理后的变化不尽相同,其中T5处理的果实纵径在大部分时期均显著大于其他处理,并由28.84 mm增长至35.53 mm。T4处理增长幅度也相对较大,增加了5.63 mm。T1、T2、T6处理在DS4时与CK的纵径相比无显著差异,且显著小于其他处理,较



果穗右下角为果皮在 0.1% 盐酸-甲醇的浸提液; T1~T9 分别表示不同处理, 详见表 1。小写字母表示采用 Duncan 多重比较检验不同处理间的显著性, 即 $p < 0.05$ 。下同。

The lower right corner of the cluster shows the pericarp in 0.1% hydrochloric acid-methanol extract; T1~T9 denote the different treatments, respectively, as detailed in Table 1. Different small letters indicate statistically significant differences ($p < 0.05$; Duncan t -test). The same below.

图 1 不同处理妮娜皇后果穗着色情况 (A) 与着色等级 (B) 的变化

Fig. 1 Changes in coloration (A) and coloration level (B) of Queen Nina after different treatments

DS0 分别仅增加了 1.52、1.40、1.32 和 1.41 mm(表 4)。

由于纵横径的差异性变化势必导致各处理间果形指数存在差异, 除 T1 处理在各个时期保持在 1.09~1.11 外, 其他各处理和 CK 的果形指数均呈现出增长趋势。CK 的果形指数由 1.08 增加至 1.13, 在 DS4 时仅显著低于 T3~T6 处理, 其中 T5 的果形指数最大, 为 1.34, 并显著高于 T3、T4 和 T6 处理, 这 3 个处理此时的果形指数分别为 1.24、1.22 和 1.28(表 4)。

2.2 不同处理果实理化性状的变化

2.2.1 果实硬度

各处理组中仅有 T5 处理未随果实成熟进程果实硬度逐渐降低, 其在 DS4 时依旧保

持着 $1.54 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 的果皮拉力数值, 与 DS0 时的 $1.62 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 相当, 且显著高于其他处理。T9 处理硬度变化也相对较小, 仅由 $1.65 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 降至 $1.42 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。与之相反, T1 和 T3 处理在 DS4 时硬度相对较低且显著低于 CK, 分别仅为 $1.08 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 和 $1.02 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。此外, 与 DS4 时 CK 果实硬度的 $1.26 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 相比, T2、T4、T6、T7、T8 处理的并未表现出显著差异, 分别为 1.20 、 1.28 、 1.22 、 1.22 和 $1.28 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ (图 2)。

2.2.2 果皮花色苷含量及相关基因表达的变化 不同处理后果皮中花色苷含量与 CIRG 值呈相似的变化趋势。在 DS1 时, T1 处理的果皮中花色苷含量(w , 后

表3 不同处理对妮娜皇后果实着色指数的影响
Table 3 Effect of different treatments on CIRG of Queen Nina berry

指标	取样时期	不同处理方式 Different treatments										CK
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	
<i>L</i>	DS0	46.88±2.37 a	46.73±4.52 a	47.59±4.37 a	46.82±3.58 a	47.48±2.84 a	47.67±0.76 a	47.50±3.91 a	46.97±4.49 a	47.19±1.50 a	47.69±3.99 a	47.69±3.99 a
	DS1	40.02±3.45 c	43.62±2.66 b	44.20±2.21 b	42.19±2.15 b	43.27±1.87 b	44.71±2.73 b	43.69±2.31 b	43.97±3.16 b	43.85±1.25 b	46.77±2.23 a	46.77±2.23 a
	DS2	35.81±2.00 b	36.62±2.54 b	37.56±1.89 b	37.29±3.21 b	39.75±3.32 b	39.64±3.86 b	41.71±2.42 a	41.68±2.18 a	41.25±1.30 a	43.12±1.80 a	43.12±1.80 a
	DS3	28.46±1.28 d	31.37±2.21 c	33.76±1.23 c	36.43±2.19 b	37.19±0.95 b	36.48±3.32 b	37.64±2.36 b	38.82±1.81 b	38.20±2.84 b	40.91±2.41 a	40.91±2.41 a
	DS4	27.54±2.59 c	27.93±5.29 c	34.95±3.88 b	36.76±3.17 b	35.23±1.06 b	36.08±2.46 b	37.13±2.17 b	40.35±1.83 a	38.23±1.60 a	39.13±2.72 a	39.13±2.72 a
<i>a</i>	DS0	-1.84±0.54 a	-1.75±0.32 a	-1.90±0.30 a	-1.92±0.52 a	-1.83±0.56 a	-1.84±0.34 a	-1.84±0.35 a	-1.60±0.46 a	-1.72±0.42 a	-1.99±0.44 a	-1.99±0.44 a
	DS1	1.37±1.13 a	0.44±1.61 ab	-0.69±1.56 ab	-0.16±1.75 ab	-0.67±1.50 ab	-0.53±1.37 ab	-1.50±1.18 ab	-1.47±1.71 ab	-1.59±0.45 ab	-2.28±0.90 b	-2.28±0.90 b
	DS2	5.92±1.71 a	4.79±1.47 a	5.61±0.80 a	4.75±0.22 a	3.22±0.60 b	5.16±0.99 a	1.62±1.48 c	1.88±1.43 c	-0.36±1.26 d	-2.34±0.52 d	-2.34±0.52 d
	DS3	5.06±1.21 a	4.74±0.54 a	6.30±1.55 a	4.89±1.61 a	4.50±1.10 a	4.72±1.41 a	5.05±1.16 a	1.63±1.56 c	3.20±1.71 b	-0.33±1.73 d	-0.33±1.73 d
	DS4	6.12±1.34 a	5.77±0.79 a	6.86±1.44 a	5.30±1.54 a	4.70±1.70 a	4.47±1.08 a	3.22±0.38 b	2.63±1.60 b	2.80±1.18 b	3.06±1.58 b	3.06±1.58 b
<i>b</i>	DS0	10.08±0.78 a	10.38±0.81 a	10.19±0.78 a	10.12±0.79 a	10.28±0.80 a	10.00±0.80 a	10.45±0.80 a	10.05±0.80 a	10.35±0.79 a	10.00±0.80 a	10.00±0.80 a
	DS1	7.80±0.45 b	9.90±0.91 a	10.62±0.43 a	7.73±0.60 b	8.95±0.68 a	8.54±1.06 b	5.48±0.43 c	9.63±0.40 a	9.56±0.85 a	9.03±0.86 a	9.03±0.86 a
	DS2	5.54±0.73 c	4.86±1.39 c	2.63±0.92 d	3.35±0.53 d	6.44±0.22 b	6.89±0.55 b	4.61±1.24 c	6.74±0.07 b	5.96±0.77 b	7.94±1.49 a	7.94±1.49 a
	DS3	0.90±0.28 d	0.82±1.42 d	1.27±0.87 d	3.34±0.39 c	3.47±0.38 c	3.80±0.92 c	4.90±0.55 b	6.55±0.78 a	4.53±0.45 b	4.62±0.38 b	4.62±0.38 b
	DS4	1.98±0.56 b	2.89±1.17 b	1.28±1.64 b	2.21±2.24 b	2.81±1.89 b	2.09±2.03 b	5.15±2.19 a	5.79±1.17 a	5.14±1.65 a	5.00±1.42 a	5.00±1.42 a
CIRG	DS0	1.50±0.11 a	1.49±0.26 a	1.51±0.24 a	1.54±0.04 a	1.53±0.12 a	1.47±0.08 a	1.45±0.14 a	1.53±0.10 a	1.46±0.37 a	1.43±0.14 a	1.43±0.14 a
	DS1	2.22±0.59 a	1.74±0.45 b	1.57±0.13 c	1.78±0.22 b	1.60±0.20 c	1.63±0.24 c	1.52±0.27 c	1.51±0.24 c	1.62±0.23 c	1.56±0.17 c	1.56±0.17 c
	DS2	3.56±0.44 a	3.25±0.65 a	3.49±0.64 a	3.10±0.78 a	2.57±0.60 b	2.71±0.71 b	2.41±0.61 b	2.30±0.46 b	1.99±0.59 b	1.62±0.34 c	1.62±0.34 c
	DS3	5.52±0.20 a	4.68±0.51 b	4.20±0.25 b	3.54±0.56 c	3.42±0.10 c	3.40±0.62 c	2.45±0.48 d	2.46±0.59 d	3.07±1.04 c	1.87±0.47 e	1.87±0.47 e
	DS4	5.43±0.42 a	4.82±0.43 a	4.06±0.31 b	3.67±0.65 b	3.41±0.30 b	3.87±0.47 b	2.85±0.48 c	2.25±0.71 c	3.74±0.53 b	2.76±0.74 c	2.76±0.74 c

注:不同小写字母表示不同处理在0.05水平差异显著。下同。

Note: Different small letters indicate significant differences among different treatments at 0.05 level. The same below.

表4 不同处理对妃娜皇后果实形态发生的影响
Table 4 Effect of different treatments on the morphogenesis of Queen Nina berry

指标 Target	取样时期 Sampling period	不同处理方式 Different treatments								果 树 学 报	
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8		
单粒质量 Single grain mass/g	DS0	11.42	11.43	11.83	12.44	11.77	11.60	11.79	12.19	11.99	11.93
	DS1	12.00	11.39	12.59	12.84	12.39	12.58	12.76	13.49	13.87	12.75
	DS2	13.11	12.25	13.11	14.65	14.79	13.20	13.56	13.65	14.74	12.60
	DS3	13.34	13.21	14.00	14.04	14.74	13.23	14.25	13.62	14.55	12.63
	DS4	13.42	12.88	13.83	14.44	14.77	13.60	14.79	14.19	14.99	12.93
横径 Transverse diameter/mm	DS0	27.40±0.23 a	27.22±0.22 a	27.14±0.35 a	27.17±0.50 a	27.02±0.42 a	27.70±0.56 a	27.12±0.22 a	27.50±0.20 a	27.31±0.53 a	27.47±0.37 a
	DS1	27.50±0.27 a	27.50±0.20 a	27.30±0.66 a	27.20±0.63 a	27.38±0.55 a	28.00±0.59 a	27.38±0.53 a	27.42±0.43 a	28.11±0.48 a	27.54±0.26 a
	DS2	27.75±0.37 b	27.76±0.23 b	27.24±0.47 b	27.63±0.65 b	28.05±0.26 b	28.68±0.35 a	28.98±0.42 a	28.48±0.38 a	28.58±0.21 a	27.90±0.39 b
	DS3	27.78±0.40 b	27.75±0.27 b	27.40±0.27 b	27.80±0.40 b	28.27±0.42 b	28.50±0.22 a	28.82±0.63 a	28.63±0.15 a	28.45±0.13 a	27.80±0.15 b
	DS4	27.64±0.21 c	27.70±0.22 c	27.82±0.21 c	27.71±0.47 c	28.52±0.37 a	28.47±0.20 ab	28.91±0.36 a	28.07±0.30 b	28.73±0.54 a	27.54±0.47 c
纵径 Longitudinal diameter/mm	DS0	29.16±0.41 a	29.42±0.28 a	29.31±0.55 a	29.17±0.55 a	28.84±0.86 a	29.40±0.48 a	28.94±0.31 a	29.16±0.18 a	29.42±0.59 a	29.58±0.67 a
	DS1	30.38±0.13 b	29.65±0.43 c	31.78±0.78 a	29.15±0.32 d	29.76±0.94 b	29.74±0.91 b	29.40±0.40 c	30.18±0.42 b	30.68±0.48 b	29.84±0.54 c
	DS2	30.38±0.54 d	29.10±0.43 e	31.75±0.52 c	34.15±0.64 a	33.73±0.80 a	30.20±0.33 d	30.36±0.75 d	32.38±0.49 b	31.58±0.62 c	30.23±0.33 d
	DS3	30.80±0.18 d	28.10±0.38 e	32.45±0.36 b	33.80±0.27 a	33.90±0.66 a	30.68±0.47 d	30.26±0.75 d	32.57±0.93 b	31.50±0.43 c	30.30±0.47 d
	DS4	30.68±0.46 f	30.85±0.25 f	33.49±0.46 c	34.80±0.31 b	35.53±0.49 a	30.72±0.19 f	31.67±0.25 c	32.21±0.56 d	33.48±0.31 c	30.99±0.52 f
果形指数 Fruit shape index	DS0	1.09±0.04 a	1.09±0.06 a	1.08±0.04 a	1.09±0.04 a	1.07±0.03 a	1.07±0.04 a	1.07±0.04 a	1.08±0.04 a	1.07±0.04 a	1.08±0.05 a
	DS1	1.11±0.06 a	1.11±0.06 a	1.11±0.03 a	1.09±0.04 a	1.05±0.05 a	1.06±0.07 a	1.07±0.07 a	1.11±0.03 a	1.09±0.04 a	1.08±0.03 a
	DS2	1.10±0.04 c	1.15±0.03 b	1.23±0.03 a	1.13±0.03 b	1.17±0.06 b	1.12±0.01 b	1.08±0.03 c	1.13±0.06 b	1.11±0.05 bc	1.08±0.03 c
	DS3	1.10±0.03 d	1.15±0.04 c	1.18±0.03 c	1.21±0.05 c	1.36±0.08 a	1.27±0.07 b	1.13±0.07 cd	1.18±0.07 c	1.15±0.06 c	1.13±0.04 cd
	DS4	1.11±0.05 d	1.15±0.03 c	1.24±0.03 b	1.22±0.04 b	1.34±0.05 a	1.28±0.04 b	1.14±0.04 c	1.19±0.05 c	1.16±0.04 c	1.13±0.04 cd

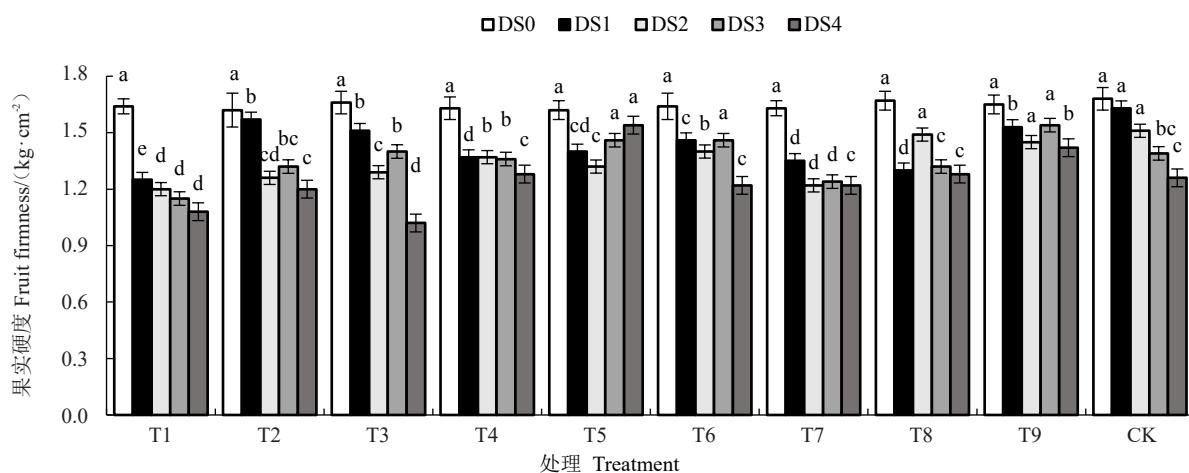


图2 不同处理对妮娜皇后果实硬度的影响

Fig. 2 Effects of different treatments on fruit firmness of Queen Nina berry

同)最高,为 $0.073 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,此时CK仅为 $0.003 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,其他处理也显著高于CK;DS1至DS2期间各组花色苷含量均大幅度增加,其中T1和T2处理含量增加最多,分别增加了 0.16 和 $0.15 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,达到了 0.23 和 $0.19 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,CK在DS2时的含量及增长量均显著低于各处理;DS2至DS4期间,各组花色苷积累放缓,其中T1在DS3和DS4时含量差异较小,分别为 0.29 和 $0.30 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,且在DS4时与T2、T3和T4处理

无显著差异,后三者此时含量分别为 0.29 、 0.28 和 $0.29 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,T5和T6处理虽不及T1~T4的含量,但依旧显著高于CK,均为 $0.16 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,T7、T9与CK差异不显著,三者含量分别为 0.11 、 0.12 和 $0.10 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,而T8处理果皮中花色苷含量甚至显著低于CK,仅有 $0.069 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ (图3)。

进一步比较了不同处理果皮中花色苷合成相关基因在DS0、DS2和DS4 3个时期的表达情况,发现

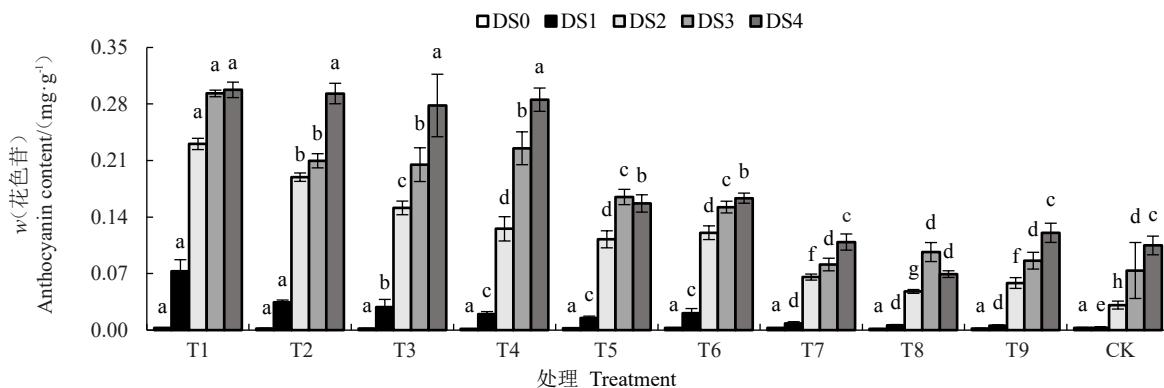


图3 不同处理对妮娜皇后果皮花色苷含量的影响

Fig. 3 Effects of different treatments on the content of anthocyanin in Queen Nina skin

VvCHS、*VvUFGT*、*VvDFR* 和 *VvMYB90* 在不同处理后的变化趋势与花色苷含量相一致,即在DS2时,T1处理中4个基因的表达水平均为最高,而CK则显著低于其他处理;DS4时T1~T4处理后*VvUFGT*、*VvDFR* 和 *VvMYB90* 表达水平相当且显著高于其他处理,而T7、T8和CK的表达水平则相对较低(图4)。

2.2.3 果实TSS含量 随着果实逐渐成熟,果实中TSS含量亦逐渐增加,但不同处理间的差异性同花色苷和果皮色泽截然不同。例如花色苷积累较快的T1和T2处理在DS4时TSS含量与CK未表现出显著差

异,分别为 17.42% 和 17.28% ,而此时CK为 17.38% ,但同样花色苷含量较多的T3、T4和T5处理则在DS1至DS4期间均显著高于CK,其中DS4时各处理含量分别为 20.60% 、 20.66% 和 20.98% 。此外,T6~T9在大部分采样期较CK均未表现出显著的差异,在DS4时分别为 16.84% 、 17.72% 、 17.70% 和 16.30% (图5)。

2.2.4 果肉可溶性糖含量 妮娜皇后果肉中未检测到蔗糖,仅检测到葡萄糖和果糖2种可溶性糖,且两者含量相当。各处理果肉可溶性糖含量的变化趋势与TSS含量相似,即在DS0至DS2各处理果肉中总可

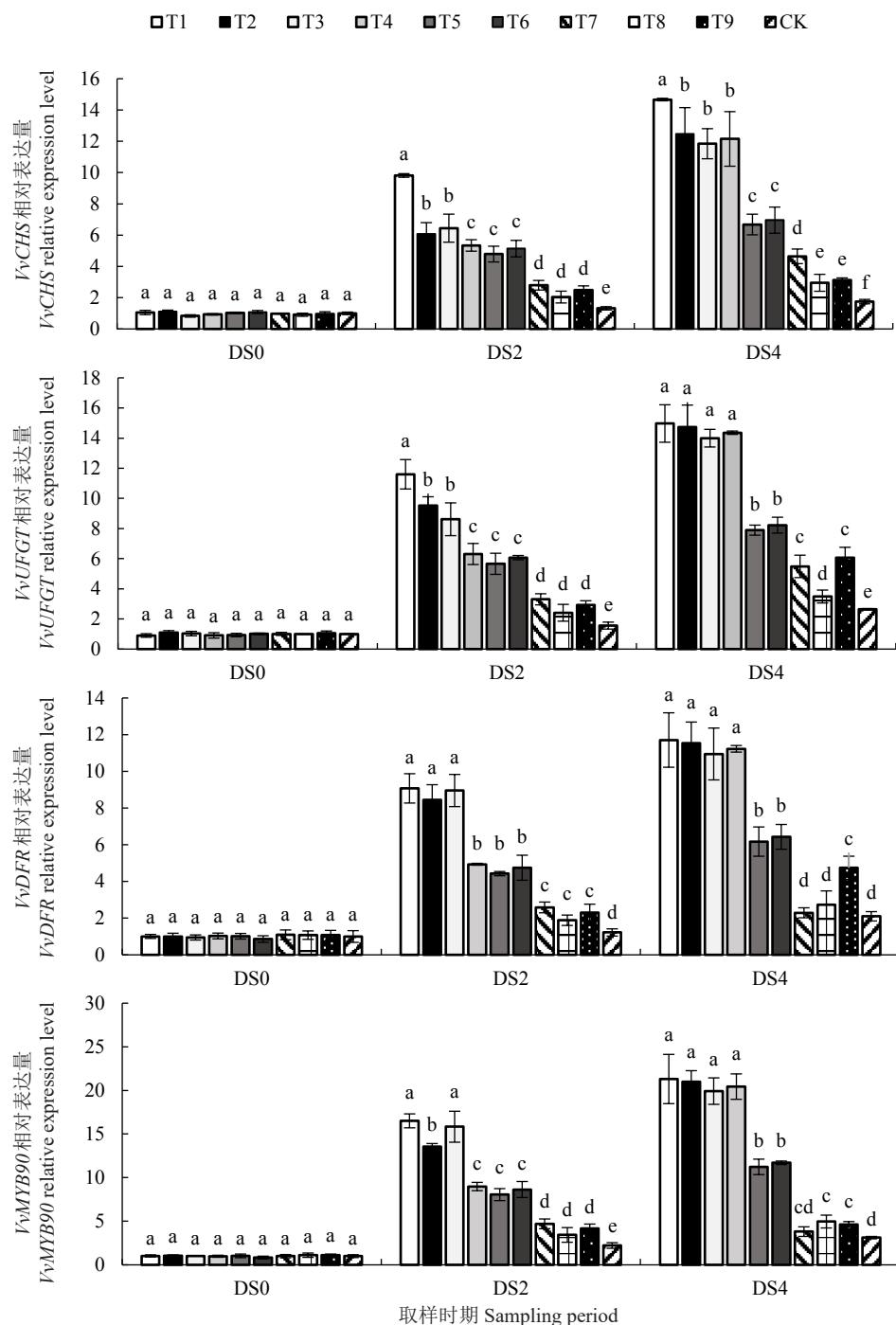


图4 不同处理对妮娜皇后果皮中花色苷合成相关基因的影响

Fig. 4 Effects of different treatments on genes related to anthocyanin synthesis in Queen Nina skin

溶性糖含量快速增加,但DS2至DS4变化幅度相对较小。其中在DS1时,T2~T5处理的总可溶性糖含量显著高于其他处理(T6除外),分别为109.94、113.47、101.52和99.65 mg·g⁻¹,而T7~T9处理与CK无显著差异,分别为74.07、76.31、74.21和69.60 mg·g⁻¹。至DS2时,T2总可溶性糖含量较上一次采样时期仅增加了19.64 mg·g⁻¹,达到了129.60 mg·g⁻¹,与T6相当,仅显著高于T8、T9和CK,此时T3和T4处理显著高

于其他处理,分别为171.82和172.18 mg·g⁻¹。在DS4时,T3~T5处理依旧显著高于其他处理,分别为180.40、190.33和198.94 mg·g⁻¹;其次为T6和T7处理,含量分别为150.61和150.51 mg·g⁻¹;T1、T2和T8处理虽显著低于上述处理,但均显著高于CK;T9处理则显著低于CK,甚至低于其DS3时的含量,仅为100.11 mg·g⁻¹(图6)。

2.2.5 果肉有机酸含量 检测妮娜皇后果肉中酒石

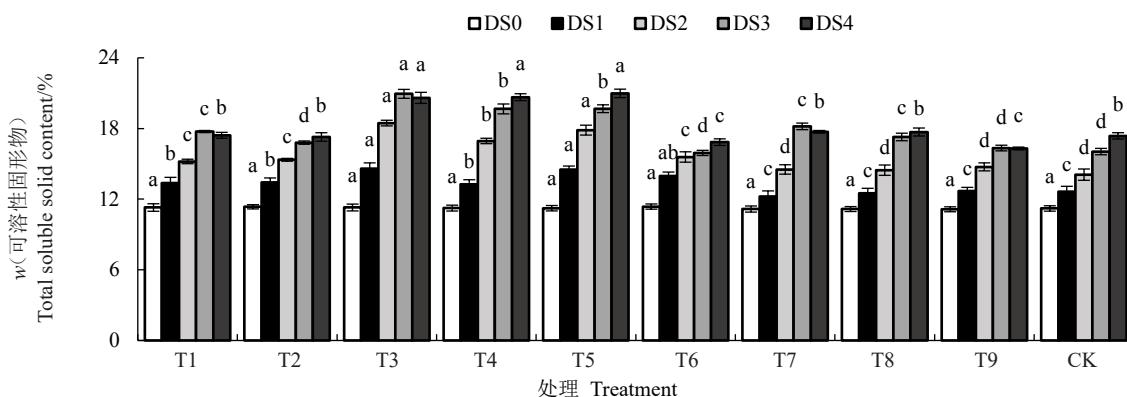


图5 不同处理对妮娜皇后果肉中可溶性固形物含量的影响

Fig. 5 Effects of different treatments on the content of anthocyanin in Queen Nina flesh

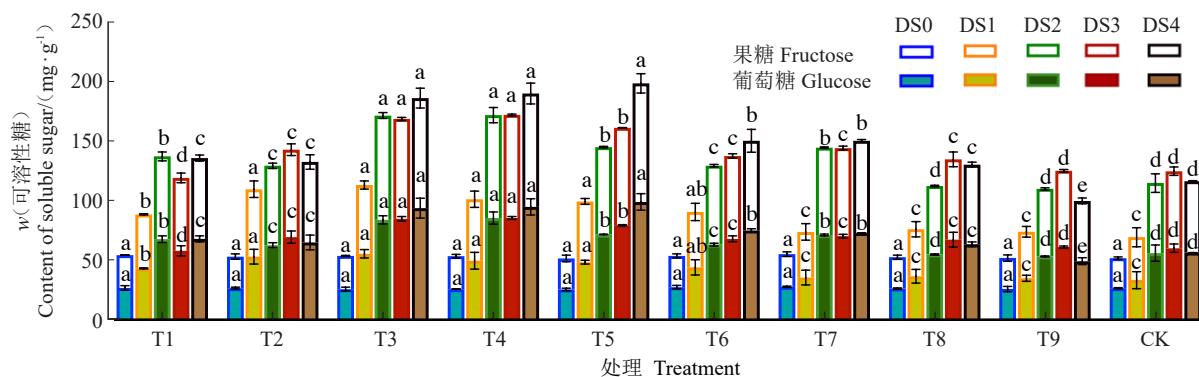


图6 不同处理对妮娜皇后果肉中可溶性糖 (葡萄糖、果糖) 含量的影响

Fig. 6 Effects of different treatments on soluble sugar (glucose, fructose) content in Queen Nina flesh

酸、苹果酸和柠檬酸3种葡萄中主要的有机酸含量，其中苹果酸含量在果实成熟过程中逐渐减少，且在DS0与DS1时是果肉中含量最多的有机酸，而酒石酸和柠檬酸含量在各个取样期的变化相对较小，因此苹果酸含量决定了妮娜皇后果肉中总有机酸含量水平。在DS1时，T2、T5、T6、T9处理和CK中苹果酸的含量显著高于其他处理，分别为4.50、4.86、4.20、4.22

和4.93 mg·g⁻¹，但至DS2时，T5、T6、T7、T8处理和CK中苹果酸含量快速降低，且显著低于其他处理。而在DS4时，各处理组中苹果酸含量相对较低，仅介于0.04~0.37 mg·g⁻¹，低于酒石酸和柠檬酸，此时各处理组总有机酸含量介于2.79~4.53 mg·g⁻¹，其中T4处理含量相对较低，而其他处理与CK的含量差异较小(图7)。

2.2.6 果肉中 VOCs 含量 香气亦是评判葡萄果实风

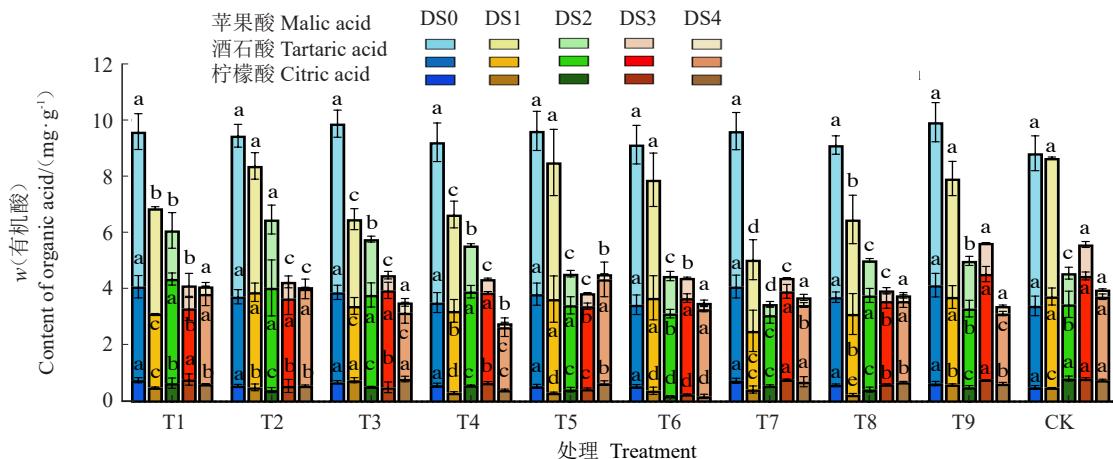


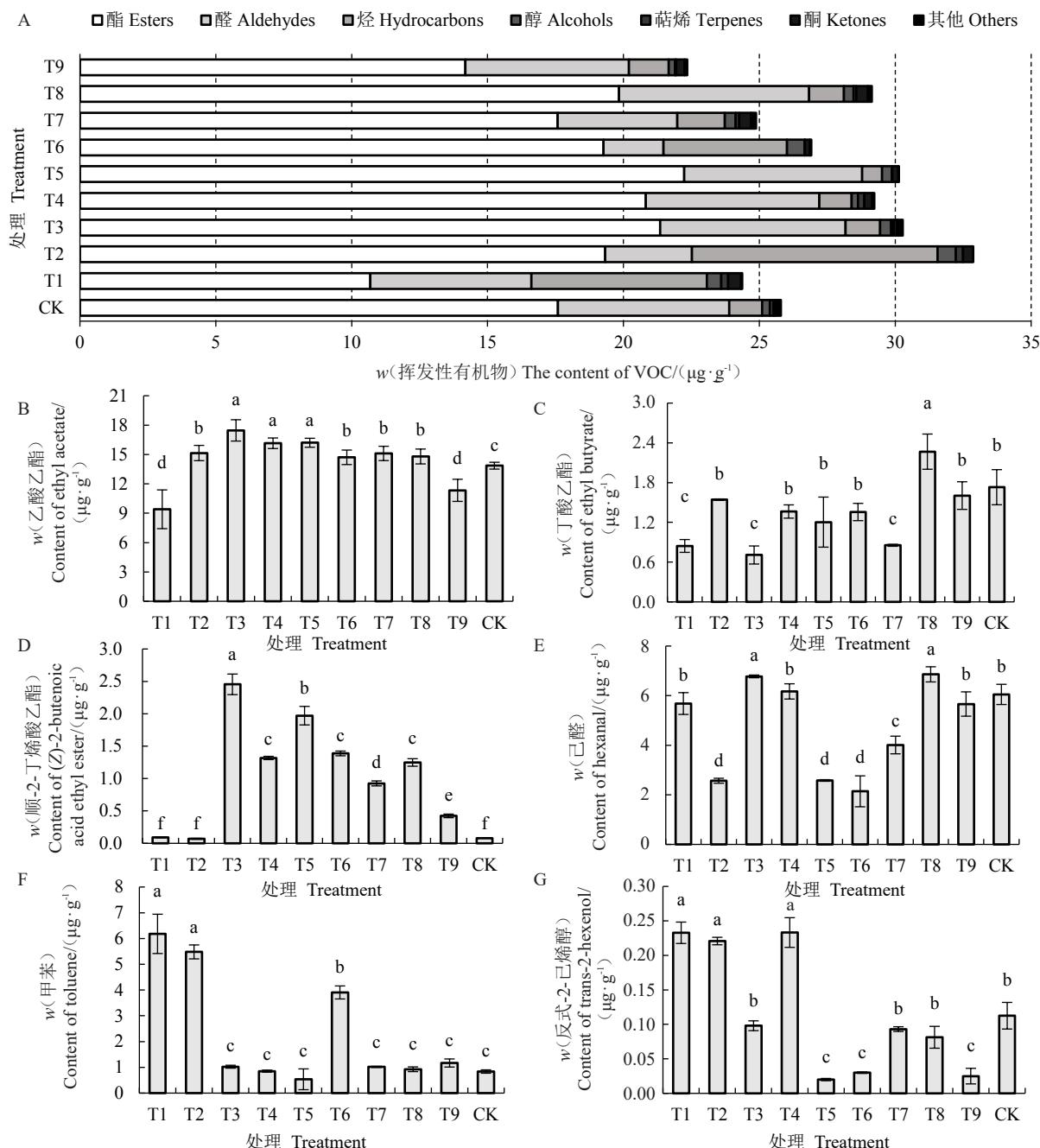
图7 不同处理对妮娜皇后果肉中有机酸 (酒石酸、苹果酸、柠檬酸) 含量的影响

Fig. 7 Effects of different treatments on the content of organic acid (tartaric, malic, and citric acid) in Queen Nina flesh

味与品质性状的重要指标,因此通过GC-MS测定了DS4时期果肉中酯、醛、烃、醇、萜烯、酮等 VOCs 的含量,其中妮娜皇后果肉中酯、醛、烃3类 VOCs 的含量相对较高。T1、T7 和 T9 处理的 VOCs 含量略低于 CK, 分别为 24.37、24.88、22.35 和 25.80 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,各处理中 T2

的总 VOCs 最高,为 $32.87 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,其烃类亦为各处理组中最高,为 $9.04 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。萜烯作为重要气味和风味类物质,在 T1、T2 和 T4 处理中相对较高,分别为 0.26、0.27 和 $0.23 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,但其他处理却低于 CK(图 8-A)。

从不同 VOCs 来分析，乙酸乙酯是妮娜皇后果



A 为不同类型挥发性有机物(VOCs)在不同处理组中含量的差异,B~G 分别为乙酸乙酯、丁酸乙酯、顺-2-丁烯酸乙酯、己醛、甲苯、反式-2-己烯醇等主要 VOCs 在不同处理组中含量的差异。

A is the difference in the content of different types of VOCs in different treatment groups, and B-G are the differences in the content of major VOCs such as ethyl acetate, ethyl butyrate, (Z)-2-Butenoic acid ethyl ester, hexanal, toluene, and trans-2-hexenol in different treatment groups, respectively.

图 8 不同处理对妮娜皇后果肉中挥发性有机物含量的影响

Fig. 8 Effects of different treatments on the content of VOCs in Queen Nina flesh

肉中含量最高的 VOCs, 其中在 T2~T8 处理中的含量介于 $14.71\text{--}17.40 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 显著高于 CK, 而 T1 和 T9 分别仅有 9.40 和 $11.34 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 显著低于 CK(图 8-B); 丁酸乙酯在 CK 中的含量为 $1.73 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 仅有 T8 显著高于 CK, 为 $2.27 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, T1、T3 和 T7 处理则显著低于 CK, 分别为 0.84 、 0.71 和 $0.85 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 而其他处理组的含量与 CK 相当(图 8-C); 顺-2-丁烯酸乙酯含量仅在 T1 和 T2 处理中与 CK 相当, 其他处理均显著高于 CK(图 8-D); T3 和 T8 处理中己醛含量以及 T1、T2 和 T6 处理中甲苯含量均显著高于 CK(图 8-E~F); 反式-2-己烯醇是妮娜皇后果肉含量最高的萜烯类物质, 在 T1、T2 和 T4 处理中显著高于其他处理和 CK, 分别为 0.23 、 0.22 和 $0.23 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (图 8-G)。

2.3 不同浓度处理果实品质的综合评价

对不同处理妮娜皇后果实在 DS1~DS4 多个性状表现进行综合评价, 发现各处理组隶属度函数值的平均值均大于 CK 的 0.22 , 其中 T3、T4 和 T5 处理相对较大, 分别为 0.61 、 0.59 和 0.58 。决定果实成熟与采摘时性状的 DS4 时期隶属度函数值, T3、T4 和

T5 处理同样相对较高, 分别为 0.62 、 0.75 和 0.69 (表 5)。在此时期 T3 处理仅有果实硬度为 0 , 其在着色等级以及 TSS、花色苷、可溶性糖以及酯类含量的函数值在各处理中相对较高, T4 和 T5 处理则在果实大小性状(包括单果质量和纵径)、硬度、可溶性糖含量的函数值高于 T3 处理(表 6)。

表 5 不同处理促进妮娜皇后果实品质形成的隶属度函数值

Table 5 Subordination degree related to Queen Nina fruit quality traits after different treatments

处理 Treatment	取样时期 Sampling period				平均值 Average
	DS1	DS2	DS3	DS4	
T1	0.55	0.47	0.53	0.42	0.49
T2	0.41	0.34	0.44	0.53	0.43
T3	0.59	0.57	0.66	0.62	0.61
T4	0.32	0.63	0.65	0.75	0.59
T5	0.32	0.61	0.72	0.69	0.58
T6	0.40	0.47	0.44	0.42	0.43
T7	0.23	0.41	0.42	0.42	0.37
T8	0.25	0.39	0.44	0.37	0.36
T9	0.40	0.41	0.41	0.41	0.41
CK	0.24	0.25	0.14	0.23	0.22

表 6 不同处理后在 DS4 时果实品质性状相关的隶属度函数值

Table 6 Subordination degree related to fruit quality traits at DS4 after different treatments

处理 Treatment	着色等级 Coloration level	CIRG	单果质量 Single fruit mass	横径 Longitudinal diameter	纵径 Horizontal diameter	硬度 Fruit hardness content	可溶性固形物含量		可溶性糖含量		有机酸含量 Organic acid content	挥发性有机物含量 Volatile organic compounds (VOC) content	萜烯含量 Terpenes content
							Total soluble solid content	花色苷含量 Anthocyanin content	Soluble sugar content				
T1	1.00	1.00	0.26	0.07	0.00	0.12	0.24	1.00	0.36	0.25	0.19	0.00	0.97
T2	1.00	0.81	0.00	0.12	0.04	0.35	0.21	0.98	0.33	0.28	1.00	0.75	1.00
T3	1.00	0.57	0.45	0.20	0.58	0.00	0.92	0.92	0.87	0.58	0.75	0.92	0.36
T4	0.90	0.45	0.74	0.12	0.85	0.50	0.93	0.95	0.91	1.00	0.65	0.88	0.88
T5	0.83	0.36	0.90	0.72	1.00	1.00	1.00	0.38	1.00	0.00	0.74	1.00	0.00
T6	0.73	0.51	0.34	0.68	0.01	0.38	0.12	0.41	0.51	0.59	0.43	0.74	0.02
T7	0.07	0.19	0.91	1.00	0.20	0.38	0.30	0.17	0.51	0.47	0.24	0.60	0.47
T8	0.12	0.00	0.62	0.39	0.32	0.50	0.30	0.00	0.31	0.43	0.65	0.79	0.40
T9	0.31	0.47	1.00	0.87	0.58	0.77	0.00	0.22	0.00	0.65	0.00	0.30	0.16
CK	0.00	0.16	0.02	0.00	0.06	0.46	0.23	0.16	0.17	0.32	0.33	0.60	0.50

3 讨论

光照环境、昼夜温差、品种特性等诸多因素均会影响葡萄果实着色^[22-24], 而南方避雨棚内光照不足与转色期昼夜温差小, 是导致具有诸多优良性状的妮娜皇后在部分南方产区着色不良、糖分积累缓慢等问题的潜在环境因素^[25], 极大限制了该品种在此地区的推广。为此, 笔者在本研究中通过在果实表面

喷施植物生长调节剂(*S*-诱抗素、茉莉酸甲酯、乙烯利)、氨基酸肥(天润多彩、金村秋、艾果龙)、叶面肥(果得乐、爱多收)以及铺设反光膜等多种栽培措施, 并比较了不同栽培措施下果实外观和品质性状的阶段性变化差异。而葡萄优质果是由果皮色泽、果实含糖量、形状、粒质量、香气等诸多外观与品质指标综合评定的模糊集合^[26], 隶属度函数值能够通过描述不同性状对果实品质的隶属关系, 并在综合分析

果实品质性状中广泛应用^[21,27-28]。在本研究中,同样通过隶属度函数值综合分析了不同栽培措施对妮娜皇后果实品质性状提升效果的优劣,并筛选出喷施 50 mg·L⁻¹茉莉酸甲酯是改善妮娜皇后葡萄果实着色与品质的最佳处理方式。

从果实外观性状来看,*S*-诱抗素和茉莉酸甲酯两类植物生长调节剂均能够有效且快速地提高花色苷合成相关基因 *VvCHS*、*VvUFGT*、*VvDFR* 和 *VvMYB90* 的表达水平,改善果实着色,提升果皮中花色苷含量,但对果实大小的影响有限。尽管乙烯利也能有效促进果实着色,但其效果远不及另两种植物生长调节剂,这可能与葡萄作为非呼吸跃变性果实,对乙烯的敏感性不如ABA有关^[29-30]。令人欣喜的是以浓缩糖蜜发酵液作为主要有效成分的“果得乐”,表现出与*S*-诱抗素和茉莉酸甲酯类似的效果,而利用外源蔗糖处理桃、蓝莓、草莓等果实同样也可以提高果实着色水平^[31-33],这与糖信号通路能够激活花色苷生物合成通路相关^[34-35]。氨基酸肥和叶面肥不仅能够促进果实着色,在增加果粒大小方面的作用也尤为显著,其中天润多彩和金村秋的效果最为显著,后者以 5-ALA 作为主要有效成分,已在多种果树中证实具有类似植物生长调节剂的作用,并能够改善果实品质^[36-38]。此外,本研究结果表明反光膜对促进果实着色的作用有限,尽管已有研究表明,光是诱导葡萄果皮花色苷积累的重要环境因子^[20],李志强等^[39]、Zhang 等^[40]和 Muneer 等^[41]也证实了反光膜能够促进果皮着色、改善果实品质,本研究的结果可能因试验地选择了郁闭度较高的飞鸟架,且行间未留有足够的空隙,导致通过地膜反射给果实的光不足以改善果实着色,并最终导致其在改善果实着色与品质的效果方面不尽如人意。

此外,本研究所使用的大部分药剂已商品化且容易购买,且参照说明书中推荐剂量,旨在比较当下主流改善果实品质药剂对妮娜皇后的作用,并通过试验的结果指导葡萄生产者选择使用有效的药剂。其中茉莉酸甲酯、天润多彩和金村秋在增加果肉中可溶性糖和 VOCs 含量、降低有机酸含量方面具有显著作用,3 种处理在各时期的隶属度函数平均值均相对较高,结合作者在前期筛选发现 50 mg·L⁻¹ 茉莉酸甲酯可作为南方部分产区解决妮娜皇后果实着色不佳问题的喷施药剂^[6],天润多彩和金村秋同样也能够作为有效的喷施药剂改善妮娜皇后果实着色

与品质。此外,*S*-诱抗素因具有促进葡萄果皮快速上色的特点,也可应用于改善果实着色,而筛选其与茉莉酸甲酯、天润多彩和金村秋的不同浓度配比,共同作用于改善果皮着色与提升果实品质,将是下一步的研究方向。

4 结 论

S-诱抗素改善妮娜皇后葡萄果实着色的效果最佳,但增加果肉中可溶性糖和 VOCs 含量的效果有限。茉莉酸甲酯不仅能够改善果实着色,促进 *VvCHS*、*VvUFGT*、*VvDFR* 和 *VvMYB90* 花色苷合成相关基因的表达,还可提高 TSS、可溶性糖、VOCs 含量以及降低有机酸含量。此外,金村秋和反光膜处理在增加果实纵横径和硬度方面具有显著的作用。通过运用隶属函数法对所有处理进行综合评价分析,表明 50 mg·L⁻¹ 茉莉酸甲酯是笔者在本研究中改善妮娜皇后葡萄果实着色与品质的最佳处理方式。

参考文献 References:

- [1] 姜建福. 葡萄果肉质地性状的评价、QTL 定位及候选基因预测[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2020.
JIANG Jianfu. Evaluation, QTL analysis and candidate gene prediction for berry texture in *Vitis vinifera* L.[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2020.
- [2] 李海燕, 张丽平, 王莉, 殷益明, 贾惠娟. 2 种植物生长调节剂对阳光玫瑰葡萄品质的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2016, 42(4):419-426.
LI Haiyan, ZHANG Liping, WANG Li, YIN Yiming, JIA Huijuan. Effects of two kinds of plant growth regulators on fruit quality of Shine Muscat grape[J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences), 2016, 42(4):419-426.
- [3] 王艳蒙, 麦斯乐, 韩守安, 温羽, 谢辉, 张雯. 植物生长调节剂对‘火焰无核’葡萄果实着色及品质的影响[J]. 西北植物学报, 2023, 43(11):2060-2069.
WANG Yanmeng, MAI Sile, HAN Shouan, WEN Yue, XIE Hui, ZHANG Wen. Effect of plant growth regulators on fruit coloration and quality of the ‘Flame Seedless’ grape berry[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalis Sinica, 2023, 43(11):2060-2069.
- [4] CHASSY A W, BUESCHL C, LEE H, LERNO L, OBERHOLSTER A, BARILE D, SCHUHMACHER R, WATERHOUSE A L. Tracing flavonoid degradation in grapes by MS filtering with stable isotopes[J]. Food Chemistry, 2015, 166:448-455.
- [5] 王赵盼, 张继波, 孙钰颖, 杜远鹏, 翟衡. 影响胶东半岛酿酒葡萄着色的气象因素分析[J]. 中国果树, 2019(3):19-24.
WANG Zhaopan, ZHANG Jibao, SUN Yuying, DU Yuanpeng, ZHAI Heng. Analysis of meteorological factors affecting coloration of wine grapes in Jiaodong Peninsula[J]. China Fruits, 2019

- (3):19-24.
- [6] 金欢淳,张培安,张涛,金联宇,董天宇,胡丹,房经贵.不同浓度茉莉酸甲酯对妮娜皇后果实着色与品质形成的影响[J].浙江农业科学,2023,64(9):2165-2172.
JIN Huanchun, ZHANG Peian, ZHANG Tao, JIN Lianyu, DONG Tianyu, HU Dan, FANG Jinggui. Effects of different concentrations of methyl jasmonate on fruit coloration and quality formation of Queen Nina[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2023, 64(9):2165-2172.
- [7] SHIRAI SHI M, SHINOMIYA R, CHIJIWA H. Varietal differences in polyphenol contents, antioxidant activities and their correlations in table grape cultivars bred in Japan[J]. Scientia Horticulturae, 2018, 227:272-277.
- [8] BRAR H S, SINGH Z, SWINNY E, CAMERON I. Girdling and grapevine leafroll associated viruses affect berry weight, colour development and accumulation of anthocyanins in 'Crimson Seedless' grapes during maturation and ripening[J]. Plant Science, 2008, 175(6):885-897.
- [9] MATSUYAMA S, TANZAWA F, KOBAYASHI H, SUZUKI S, TAKATA R, SAITO H. Leaf removal accelerated accumulation of delphinidin-based anthocyanins in 'Muscat Bailey A' [*Vitis × labruscana* (Bailey) and *Vitis vinifera* (Muscat Hamburg)] grape skin[J]. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 2014, 83(1):17-22.
- [10] GUIDONI S, ALLARA P, SCHUBERT A. Effect of cluster thinning on berry skin anthocyanin composition of *Vitis vinifera* cv. Nebbiolo[J]. American Journal of Enology and Viticulture, 2002, 53(3):224-226.
- [11] 蒋娅萍,方艳,王海霞,杨学山,祝霞.外源油菜素内酯对霞多丽和黑比诺葡萄品质的影响[J].果树学报,2023,40(12):2574-2590.
JIANG Yaping, FANG Yan, WANG Haixia, YANG Xueshan, ZHU Xia. Effects of exogenous brassinolide on flavor quality of Chardonnay and Pinot Noir grape[J]. Journal of Fruit Science, 2023, 40(12):2574-2590.
- [12] FERRERO M, PAGLIARANI C, NOVÁK O, FERRANDINO A, CARDINALE F, VISENTIN I, SCHUBERT A. Exogenous strigolactone interacts with abscisic acid-mediated accumulation of anthocyanins in grapevine berries[J]. Journal of Experimental Botany, 2018, 69(9):2391-2401.
- [13] WANG P P, GE M Q, YU A S, SONG W, FANG J G, LENG X P. Effects of ethylene on berry ripening and anthocyanin accumulation of 'Fujimiori' grape in protected cultivation[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2022, 102(3): 1124-1136.
- [14] JIA H F, ZHANG C, PERVAIZ T, ZHAO P C, LIU Z J, WANG B J, WANG C, ZHANG L, FANG J G, QIAN J P. Jasmonic acid involves in grape fruit ripening and resistant against *Botrytis cinerea*[J]. Functional & Integrative Genomics, 2016, 16(1): 79-94.
- [15] COOMBE B G. Growth stages of the grapevine: Adoption of a system for identifying grapevine growth stages[J]. Australian Journal of Grape and Wine Research, 1995, 1(2):104-110.
- [16] 李芳菲,王莎,谷世超,程大伟,顾红,李明,陈锦永,杨英军.叶面喷施ABA和PDJ对'巨峰'葡萄果实着色及品质的影响[J].果树学报,2020,37(3):362-370.
LI Fangfei, WANG Sha, GU Shichao, CHENG Dawei, GU Hong, LI Ming, CHEN Jinyong, YANG Yingjun. Effects of foliar application of ABA and PDJ on the coloration and quality of 'Kyoho' grape berry[J]. Journal of Fruit Science, 2020, 37(3): 362-370.
- [17] 纪松涛. MYB 转录因子调控葡萄果实花色苷形成的分子机制研究[D].南京:南京农业大学,2018.
JIU Songtao. The study on molecular mechanism of MYB transcription factor regulating anthocyanin synthesis in grape berries[D]. Nanjing:Nanjing Agricultural University,2018.
- [18] 赵益梅,刘伟强,崔萍,张晓煜,夏永秀,刘旭.贺兰山东麓'马瑟兰'葡萄果实花色苷和原花色素特性分析[J].西北植物学报,2023,43(10):1683-1693.
ZHAO Yimei, LIU Weiqiang, CUI Ping, ZHANG Xiaoyu, XIA Yongxiu, LIU Xu. Analysis of anthocyanin and proanthocyanidin characteristics of marselan wine grapes in the eastern foot of Helan Mountain[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2023, 43(10):1683-1693.
- [19] ZHENG T, DONG T Y, HAIDER M S, JIN H C, JIA H F, FANG J G. Brassinosteroid regulates 3-hydroxy-3-methylglutaryl CoA reductase to promote grape fruit development[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020, 68(43): 11987-11996.
- [20] ZHANG P A, LU S W, LIU Z J, ZHENG T, DONG T Y, JIN H C, JIA H F, FANG J. Transcriptomic and metabolomic profiling reveals the effect of LED light quality on fruit ripening and anthocyanin accumulation in cabernet sauvignon grape[J]. Frontiers in Nutrition, 2021, 8:790697.
- [21] 白世践,户金鸽,王勇,蔡军社,陈光,赵荣华.茉莉酸甲酯对'克瑞森无核'葡萄果实着色及品质的影响[J].农学学报,2022,12(6):44-49.
BAI Shijian, HU Jinge, WANG Yong, CAI Junshe, CHEN Guang, ZHAO Ronghua. Effect of methyl jasmonate on coloration and quality of 'Crimson Seedless' grape[J]. Journal of Agriculture, 2022, 12(6):44-49.
- [22] SUN L, LI S C, TANG X P, FAN X C, ZHANG Y, JIANG J F, LIU J H, LIU C H. Transcriptome analysis reveal the putative genes involved in light-induced anthocyanin accumulation in grape 'Red Globe' (*V. vinifera* L.)[J]. Gene, 2020, 728:144284.
- [23] HUNTER J J, VOLSCHENK C G, MANIA E, CASTRO A V, BOOYSE M, GUIDONI S, PISCIOTTA A, DI LORENZO R, NOVELLO V, ZORER R. Grapevine row orientation mediated temporal and cumulative microclimatic effects on grape berry temperature and composition[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2021, 310:108660.
- [24] 张培安,张文颖,纪松涛,张克坤,张超博,房经贵,刘崇怀.葡萄(*Vitis* spp.)果皮颜色及果实着色性状分析[J].植物资源与

- 环境学报,2017,26(4):8-17.
- ZHANG Peian, ZHANG Wenying, JIU Songtao, ZHANG Kekun, ZHANG Chaobo, FANG Jinggui, LIU Chonghuai. Analyses on pericarp color and fruit coloring characters of grape(*Vitis* spp.)[J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2017, 26(4):8-17.
- [25] 曹锰,郭景南,高登涛,孙晓文,魏志峰. 避雨栽培微环境对葡萄果实品质影响研究进展[J]. 河南农业科学,2016,45(1):15-19.
- CAO Meng, GUO Jingnan, GAO Dengtao, SUN Xiaowen, WEI Zhifeng. Research progress in effects of rain-shelter cultivation on quality of grape berry[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2016, 45(1):15-19.
- [26] FU G Q, REN Y H, KANG J, WANG B, ZHANG J X, FANG J G, WU W M. Integrative analysis of grapevine (*Vitis vinifera* L.) transcriptome reveals regulatory network for Chardonnay quality formation[J]. Frontiers in Nutrition, 2023, 10:1187842.
- [27] 张彦山,肖正璐,顾群英,豆丽萍,何博. 宁县黄甘桃果实品质综合评价[J]. 果树学报,2024,41(1):65-75.
- ZHANG Yanshan, XIAO Zhenglu, GU Qunying, DOU Liping, HE Bo. Comprehensive evaluation of the fruit quality of yellow-flesh peaches in Ningxian[J]. Journal of Fruit Science, 2024, 41 (1):65-75.
- [28] 李群贞,黄福琼,朱礼乾,袁梦,龙勇,王男麒,凌丽俐,淳长品. 四川省眉山市爱媛 28 和春见果实时品质分析与评价[J]. 果树学报,2024,41(4):651-664.
- LI Qunzhen, HUANG Fuqiong, ZHU Liqian, YUAN Meng, LONG Yong, WANG Nanqi, LING Lili, CHUN Changpin. Analysis and evaluation of fruit quality of Ehime 28 and Harumi in Meishan City, Sichuan province[J]. Journal of Fruit Science, 2024, 41(4):651-664.
- [29] JIA H F, JIU S T, ZHANG C, WANG C, TARIQ P, LIU Z J, WANG B J, CUI L W, FANG J G. Abscisic acid and sucrose regulate tomato and strawberry fruit ripening through the abscisic acid-stress-ripening transcription factor[J]. Plant Biotechnology Journal, 2016, 14(10):2045-2065.
- [30] LUND S T, PENG F Y, NAYAR T, REID K E, SCHLOSSER J. Gene expression analyses in individual grape (*Vitis vinifera* L.) berries during ripening initiation reveal that pigmentation intensity is a valid indicator of developmental staging within the cluster[J]. Plant Molecular Biology, 2008, 68(3):301-315.
- [31] 凌亚杰,杨子,莫琴,莫凡,葛聪,罗澍,罗娅. 外源蔗糖和ABA对草莓生物活性物质及抗氧化能力的影响[J]. 基因组学与应用生物学,2019,38(4):1712-1718.
- LING Yajie, YANG Zi, MO Qin, MO Fan, GE Cong, LUO Shu, LUO Ya. Effects of exogenous sucrose and ABA on bioactive substances and antioxidant capacity in strawberry fruit[J]. Genomics and Applied Biology, 2019, 38(4):1712-1718.
- [32] 彭舒,张婷渟,李丽,杨芩,熊银香. 外源蔗糖处理对蓝莓果实发育过程关键品质的影响[J]. 绿色科技,2020,22(17):82-84.
- PENG Shu, ZHANG Tingting, LI Li, YANG Qin, XIONG Yinxiang. Effects of exogenous sucrose treatment on key qualities during blueberry fruit development[J]. Journal of Green Science and Technology, 2020, 22(17):82-84.
- [33] 田梦瑶,周宏胜,唐婷婷,张映瞳,凌军,罗淑芬,李鹏霞. 外源蔗糖处理对采后桃果皮色泽形成的影响[J]. 食品科学,2022, 43(1):177-183.
- TIAN Mengyao, ZHOU Hongsheng, TANG Tingting, ZHANG Yingtong, LING Jun, LUO Shufen, LI Pengxia. Effect of exogenous sucrose treatment on the peel coloration in postharvest peaches[J]. Food Science, 2022, 43(1):177-183.
- [34] MENG L S, XU M K, WAN W, YU F, LI C, WANG J Y, WEI Z Q, LV M J, CAO X Y, LI Z Y, JIANG J H. Sucrose signaling regulates anthocyanin biosynthesis through a MAPK cascade in *Arabidopsis thaliana*[J]. Genetics, 2018, 210(2):607-619.
- [35] NIU M Y, CHEN X, GUO Y Y, SONG J X, CUI J, WANG L, SU N N. Sugar signals and R2R3-MYBs participate in potassium-repressed anthocyanin accumulation in radish[J]. Plant & Cell Physiology, 2023, 64(12):1601-1616.
- [36] ZHENG J, AN Y Y, WANG L J. 24-Epibrassinolide enhances 5-ALA-induced anthocyanin and flavonol accumulation in calli of 'Fuji' apple flesh[J]. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 2018, 134(2):319-330.
- [37] ZHENG J, AN Y Y, FENG X X, WANG L J. Rhizospheric application with 5-aminolevulinic acid improves coloration and quality in 'Fuji' apples[J]. Scientia Horticulturae, 2017, 224:74-83.
- [38] 杨思玲,金欢淳,张培安,樊秀彩,生弘杰,卢素文,房经贵. 5-氨基乙酰丙酸处理对葡萄果实时品质及相关基因表达的影响[J]. 南京农业大学学报,2023,46(4):645-657.
- YANG Siling, JIN Huanchun, ZHANG Peian, FAN Xiucai, SHENG Hongjie, LU Suwen, FANG Jinggui. Effects of 5-aminolevulinic acid treatment on the quality of grape berries and the expression levels of related genes[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2023, 46(4):645-657.
- [39] 李志强,林碌,李磊,赵琪,李倩,安福尚,金洪波. 覆盖散光膜对设施葡萄不同节位叶片光合特性和果实时品质的影响[J]. 果树学报,2022,39(12):2330-2342.
- LI Zhiqiang, LIN Lu, LI Lei, ZHAO Qi, LI Qian, AN Fushang, JIN Hongbo. Effects of covering with light-diffusing film on photosynthetic characteristics of leaves at different node positions and fruit quality of grapes under protection[J]. Journal of Fruit Science, 2022, 39(12):2330-2342.
- [40] ZHANG B B, MA R J, ZHANG C H, CAI Z X, YAN Z M. Effect of bag removing with reflective film mulching before harvest on fruit coloration and expression of anthocyanin related genes in peach[J]. Horticultural Plant Journal, 2015, 1(3): 139-146.
- [41] MUNEER S, KIM J H, PARK J G, SHIN M H, CHA G H, KIM H L, BAN T, KUMARIAMI H M P C, KIM S H, JEONG G, KIM J G. Reflective plastic film mulches enhance light intensity, floral induction, and bioactive compounds in 'O' Neal' southern highbush blueberry[J]. Scientia Horticulturae, 2019, 246:448-452.